

## АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД, ПИТАЕМЫЙ ПРЯМОУГОЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

И. Ф. КАЛИНИН, В. И. ПАНТЕЛЕЕВ, Б. П. СОУСТИН

(Представлена научно-техническим семинаром  
кафедры электрооборудования ТПИ)

В последние годы благодаря появлению сравнительно простых и надежных преобразователей частоты (ПЧ) быстро развивается асинхронный электропривод с частотным управлением. Форма выходного напряжения ПЧ значительно отличается от синусоидальной, поэтому представляет интерес исследование динамики асинхронного двигателя (АД), питаемого такими напряжениями.

У многих ПЧ форма выходного напряжения близка к прямоугольной, поэтому для исследований была выбрана именно эта форма напряжения, соответствующая работе ПЧ с  $180^\circ$  углом проводимости, рис. 1, а.

Исследование поведения АД, питаемого прямоугольным напряжением, проводилось на АВМ типа МН-14 по параметрам двигателя ДАТ250-8.

В качестве исходной для моделирования системы дифференциальных уравнений АД была принята система « $\psi_s$ — $\psi_r$ » [1]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Psi_{as}}{dt} &= U_{as} - \alpha'_s \Psi_{as} + k_r \alpha'_s \Psi_{ar}, \\ \frac{d\Psi_{\beta s}}{dt} &= U_{\beta s} - \alpha'_s \Psi_{\beta s} + k_r \alpha'_s \Psi_{\beta r}, \\ \frac{d\Psi_{ar}}{dt} &= -\alpha'_r \Psi_{ar} + k_s \alpha'_r \Psi_{as} - \omega \Psi_{\beta r}, \\ \frac{d\Psi_{\beta r}}{dt} &= -\alpha'_r \Psi_{\beta r} + k_s \alpha'_r \Psi_{\beta s} + \omega \Psi_{ar}, \\ M &= \frac{k_r}{\sigma L_s} (\Psi_{\beta s} \cdot \Psi_{ar} - \Psi_{as} \cdot \Psi_{\beta r}), \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{I} (M - M_c \operatorname{sign} \omega). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Моделирование проводилось в неподвижной, относительно статора, системе координат.

Если предположить, что система векторов нулевой последовательности напряжения и тока отсутствует, то  $U_{as}$  и  $U_{\beta s}$  определяется по формулам из (1):



$$\left. \begin{aligned} U_{\alpha s} &= U_a \\ U_{\beta s} &= \frac{U_b - U_c}{\sqrt{3}} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где  $U_a$ ,  $U_b$  и  $U_c$  — напряжения фаз статора.

Форма составляющих  $U_{\alpha s}$  и  $U_{\beta s}$  приводится на рис. 1, а.

Кроме этого предполагается, что насыщение стали и потери в стали отсутствуют.

При исследовании никак не учитывались электромагнитные процессы ПЧ, исследовалась просто работа АД, питаемого прямоугольным напряжением.

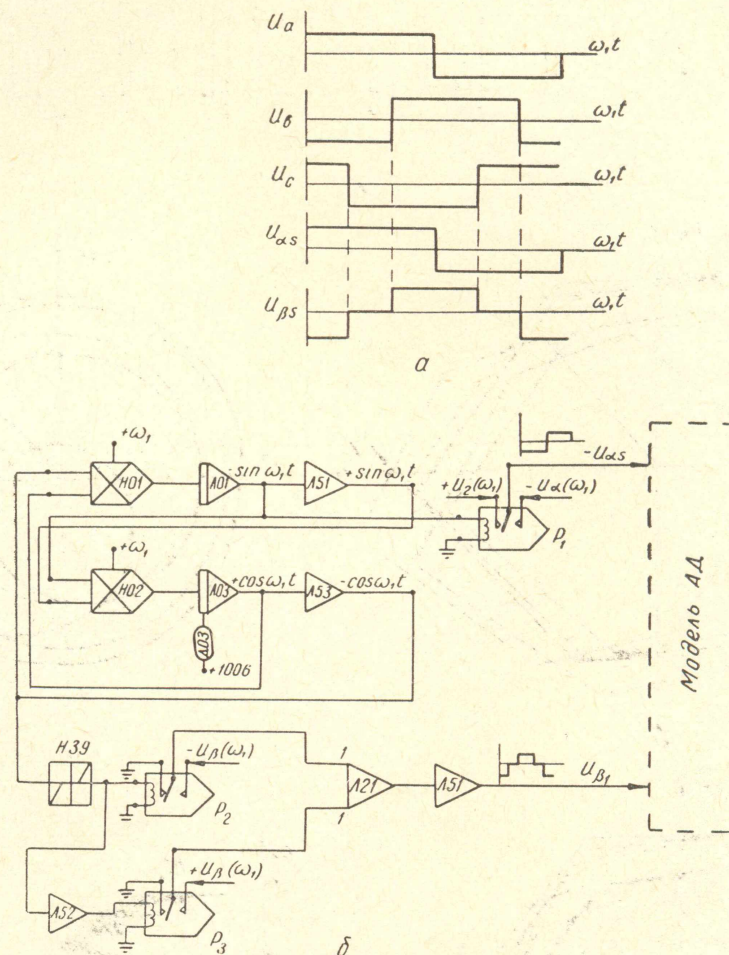


Рис. 1

Аналоговая модель АД, составленная по системе уравнений (1), общеизвестна и поэтому не приводится. Источник прямоугольного напряжения набирался из решающих блоков АВМ, рис. 1, б, и состоит из источника синусоидальных напряжений, операционных реле и усилителей.

После отладки модели исследовался частотный пуск АД при изменении частоты напряжения по экспоненциальному закону и  $\frac{U}{f} = \text{const}$ .

Изменение питающего напряжения во времени приводится на рис. 2, а. Была получена картина изменения в динамике потокосцепления  $\psi_s$  на комплексной плоскости, рис. 2, б, из которой видно, что вектор  $\psi_s$  изменяется дискретно, через  $60^\circ$ . Аналогичная картина для потокосцепления ротора  $\psi_r$ , он имеет форму окружности, рис. 2, с, а не шестиугольника, и



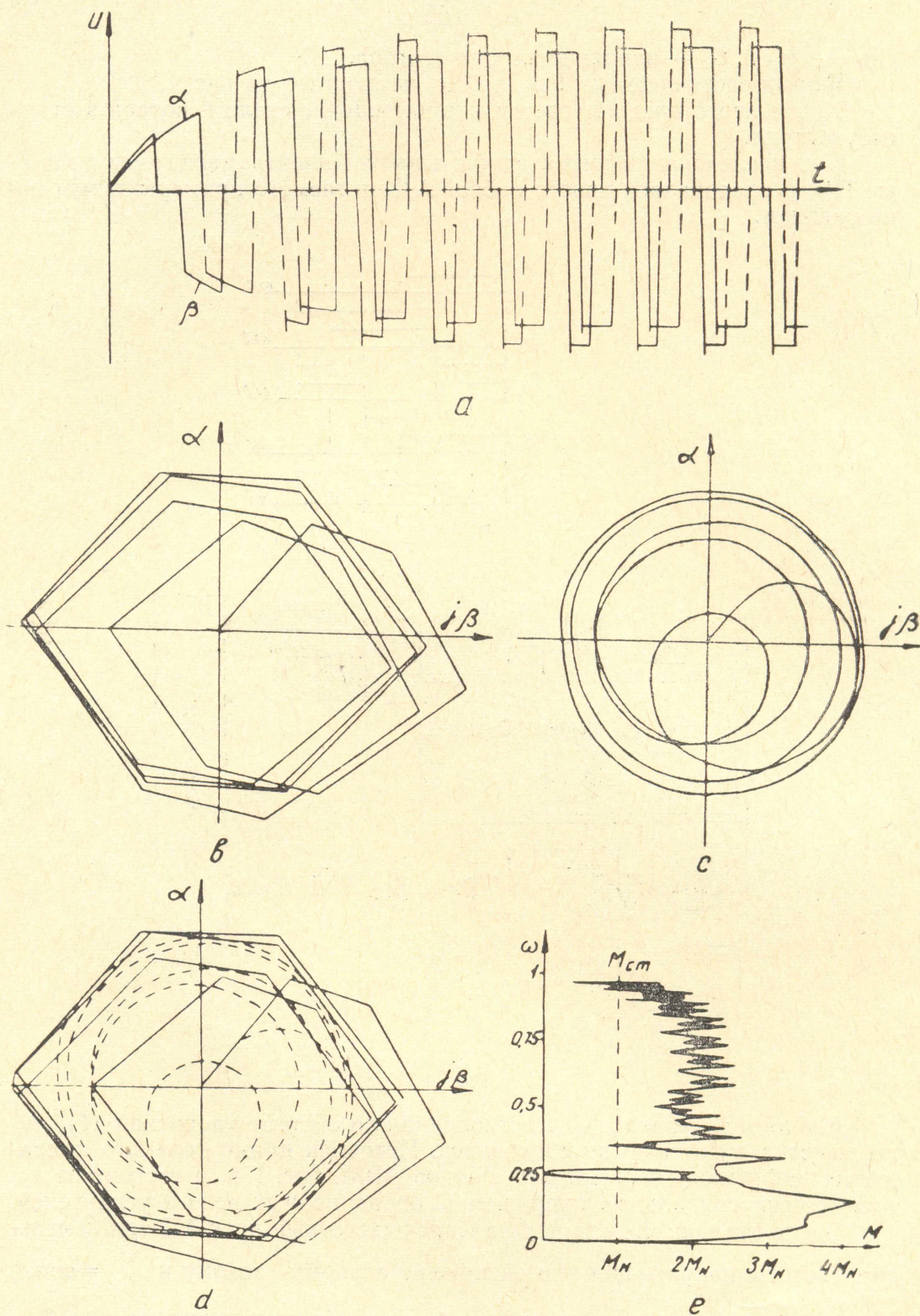


Рис. 2



свидетельствует о том, что магнитная цепь АД является некоторого рода фильтром для высших гармоник.

Наложив эти картины друг на друга, рис. 2, d, можно судить о степени приближения, которую вносит последнее из высказанных выше допущений. Как видно из этого сравнения, максимальная погрешность (о ней можно судить по разности между  $\psi_s$  и  $\psi_r$ ) от пренебрежения эффектом насыщения имеет место на начальном участке пуска, минимальная — в установившемся режиме. Очевидно, что эта погрешность — прежде всего погрешность в определении амплитуды первых пульсаций момента. Для точности определения быстродействия она имеет не столь существенное значение.

Сравнивая  $\psi_s$  и  $\psi_r$ , легко заметить, что наиболее существенные отличия между ними в установившемся режиме работы имеют место при изменениях вектора  $\psi_s$ , то есть 6 раз за период. Этим объясняется наличие высокочастотных пульсаций на кривой момента, рис. 2, e. Частота этих пульсаций  $f_n = 6f_1$ . Высокочастотные пульсации момента на быстродействие влияния почти не оказывают, поскольку величина момента, среднего за какой-то отрезок времени, остается неизменной.

Очевидно, что более точное исследование динамики АД, питаемого от ПЧ, требует моделирования электромагнитных процессов в ПЧ, а также методов компенсации реактивной энергии, конкретных для каждого типа ПЧ. Данная работа не ставила перед собой такой цели. По проведенным исследованиям могут быть сделаны следующие выводы:

1. На АВМ возможно исследование асинхронного электропривода, питаемого от ПЧ. При этом можно обходиться только решающими блоками АВМ.

2. Точное исследование значений переходного момента требует введения переменных параметров для учета эффекта насыщения стали, который особенно замечен на начальном участке пуска, т. е. в области больших токов.

3. Для исследования системы ПЧ-АД необходима разработка простых в отладке и работе схем моделей ПЧ, точно моделирующих физические процессы в ПЧ.

В работе были приняты следующие обозначения:

$r_s, r_r$  — активные сопротивления статора и ротора;

$L_s, L_r, L_m$  — полные индуктивности статора и ротора и эквивалентная трехфазная взаимная индуктивность;

$k_s = \frac{L_m}{L_s}$ ,  $k_r = \frac{L_m}{L_r}$  — коэффициенты связей статора и ротора;

$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}$  — коэффициенты рассеяния по Блонделю;

$\alpha'_s = \frac{r_s}{L_s} \sigma$ ;  $\alpha'_r = \frac{r_r}{L_r} \sigma$  — коэффициент затухания статора (ротора) при

замкнутой обмотке ротора (статора);

$I$  — момент инерции привода, приведенный к валу АД и выраженный в относительных единицах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К. П. Ковач, И. Рад. Переходные процессы в машинах переменного тока. Госэнергиздат, 1963.

2. Sattler Ph. K., Ulrich B., „Untersuchung der stromrichter gespeisten Asynchronmaschine am Analogrechner“, ETZ-A, 1968, H. 2, S. 25—31.